短 報 [Note]

長野県千曲市姨捨棚田における水収支

村上 利之¹⁾

Water balance in the Obasute Terraced Paddy Field, Chikuma City, Nagano Prefecture

Toshinobu MURAKAMI¹⁾

Abstract

A terraced paddy field developing on a sloping area forms a special hydrologic cycle system due to its traditional plot-to-plot irrigation. In order to elucidate the flow and consumption of irrigation water, an investigation on water balance was conducted in the Obasute terraced paddy field of Chikuma City, Nagano Prefecture. The water level in the experimental paddies remained relatively high, since the water was supplied continuously from paddies fatter up the slope. Water balance analysis on rainless days made it clear that the amount of inflowing water was the most important factor controlling the other water balance items. The amount of percolation is relatively small in this area, as revealed by a result of gross analysis of water balance, because the upper plot losses water by percolation, while the lowest plot receives water through seepage from the bund of the upper ones. The alternation of percolation and seepage between the paddies creates a special water circulation system of the terraced paddy fields.

Key words : terraced paddy fields, plot-to-plot irrigation, irrigation water quantity, water balance

摘 要

傾斜地に展開する棚田は、従来の田越し灌漑によって独特な水循環系を形成している。灌漑用水量と消費量を明らかにするため、長野県千曲市姨捨棚田において水収支測定を行った。実測圃場の水位は、上流からの水を掛け流しするために比較的高く維持されている。無降雨日における水収支解析では、流入量が他の項目を支配する最も重要な要因であることが明らかになった。上位の圃場は浸透によって水を消費するが、最下位の圃場では上位の圃場の畦畔浸透を通して水を得ているために、巨視的な水収支解析の結果として、この地区の浸透量は比較的少なかった。圃場間の浸透と浸透流入の相互作用から、棚田は独特の水循環系を作り出している。

キーワード：棚田、田越し灌漑、灌漑用水量、水収支

(2004年2月18日受付；2005年1月24日受理)

¹⁾ 立正大学大学院地球環境科学研究科環境システム学専攻 〒360-0194 埼玉県熊谷市万吉1700. Department of Environment systems, Faculty of Geo-environmental science, Rissho University, 1700 Magechi, Kumagaya, Saitama 360-0194, Japan (E-mail:029W00001@ris.ac.jp)

はじめに

棚田は流域の上流部に発達し、傾斜地に階段状に展開する水田である。棚田が展開する中山間地域は平野部の水源となっており、そこでは多様な水循環の場が存在する。その中で、棚田は従来の田越し灌漑によって水を面に広げると同時に、一時的に貯留する独特の水循環系を形成している。

近年、棚田の持つ多面的機能の中で、洪水調節や地下水涵養等、国土保全の機能が注目されている。金子(1969)は棚田が展開する二つの流域を対象に降雨時の流出特性を比較し、全流域面積に対し耕作面積率の大きい棚田流域では流出の調節作用が働くことを明らかにした。早瀬(1992)は耕作放棄された棚田では畦畔の崩壊によって貯留能力が低下し、下流域で洪水発生 の頻度が大きくなることを指摘した。しかし、これらの棚田の機能に関しては、流出モデルによる推定や定性的な表現に止まっていると指摘されている(増本ほか, 1997)。

棚田では水源が限られているために、大部分で従来の田越し灌漑が行われている。田越し灌漑とは、隣接する水田が水路を兼ねており、田を通して下流の圃場に水を

流下させる方法である。棚田における灌漑用水は、水掛りが複雑である上に、各圃場の水管理操作が様々でないことから、複雑な動きを示すことが考えられる。このため、圃場内における灌漑用水の挙動・貯留動態や隣接する圃場間の水の移動過程における水収支の相互関係等について、実測データに基づいて明らかにする必要がある。しかし、棚田における灌漑用水の実態については現在までほとんど解明されていない。

本研究は、棚田を「田越し灌漑によって水循環系を構成する連続貯水体」として捉え、灌漑用水量、圃場水収支の観点から、灌漑用水の実態を明らかにすることを目的とした。2002年度灌漑期には、長野県千曲市姨捨棚田において計16回の水収支調査を行い、その季節変化および日変化から棚田の水収支特性について検討を行った。

研究対象地域と方法

研究対象地域

研究対象地域には、従来の圃場形態を維持し、田越し灌漑によって水田耕作が行われている長野県千曲市姨捨棚田を選定した(Fig. 1)。棚田は冠着山麓の標高365~550 m、

Fig. 1. Area of Obasute terraced paddy field.

図1. 姨捨棚田地域。

傾斜が約 1/7 の斜面に展開している。棚田の総面積は $25 \times 10^4 \text{ m}^2$ で、水田数は約 2,000 枚である。棚田の灌漑用水は、約 2 km 上流に 3 段になって展開する大池溜池を水源とし、そこから流下する更級川の水を大口水門で取水している。大口水門で取水した水は、12ヶ所の水門や分水口において、規定の割合で各用水路に配水されている。

水収支測定を行った実測圃場は、棚田地区の南東部を流下する横沢川水系内の中流部にあり、標高約 490 m に立地している。その面積は 4 枚合わせて 146.7 m^2 、各圃場間の段差が約 0.5 ~ 2.0 m で、水掛りが独立した水田団地の最下位に位置している (Fig. 2)。この水田団地へ取水した水は、大部分が実測圃場を通して水路へ流出する。本研究では、実測圃場に上流から A, B, C, D の順で記号を付した。この記号に従うと、実測圃場の水掛りは、常時 A→B→水路、A→C→D→水路となっている。

水収支各項目の測定と推定方法

調査は 2002 年 5 月 10 日から 9 月 8 日までの間に、6 ~ 9 日間隔で現地へ赴き、計 16 回の 24 時間連続観測を行った。観測項目は水田圃場における流入・流出量および圃場水位であり、各項目の観測は 2 時間間隔で行った (Figs. 2, 3)。

一枚の水田圃場の水収支は (1) 式により表した。流入・貯留側の項目として降雨量 (R)、表面流入量 (Q_i) が、消費・流出側の項目として浸透量 (P)、蒸発散量 (Et) および表面流出量 (Q_o) が、その差が貯水量変化 (Ds) と

なる。

$$(R + Q_i) - (P + Et + Q_o) = Ds \quad (1)$$

各圃場の水口と水尻に計 7 台の水道メーターを設置し、表面流入・流出量を計測した。ただし、流量が極端に少ない場合や計器に泥やゴミの混入によって計測が困難な場合には、1 L ビーカーによる直接採水法によった。また、D 圃場の流入量は、器材の台数が限られていたため、実測日において直接採水法で測定した。両測定法の比較から、直接採水法による値は水道メーターの値に対して、約 1.0 % 多く算出された。全灌漑期における水管理操作の傾向を把握するために圃場水位 ($W.L.$) を観測した。A 圃場では 2002 年 5 月 16 日、C 圃場では 6 月 14 日より水位データロガーを、残りの B および D 圃場では、実測日に水位標を用いた。実測圃場の透水性を把握するため、代かきが行われる前日までに、耕起後の田面に $\phi 65 \text{ mm}$ の塩ビ管を打ち込んで減水量を測定する透水試験も行った。

一筆圃場内の消費項目である蒸発散量と浸透量は、多くの要件が関係しているために、実測からその値を求めることは困難である。蒸発散量については、許容誤差が $\pm 1.0 \text{ mm d}^{-1}$ 以内で全国的適用が可能で、最高気温、日照時間と可照時間を組み合わせて算出する Miyamoto (1973) の推定式を適用した。算出には、最高気温を千曲坂城消防組合更埴消防署、日照時間を長野地方気象台のデータを用いた。蒸発散量の時間別値については、中川 (1966) の経験値に基づいて算出した。一方、浸透量については、

Fig. 2. Location of the observed plots, and instruments used in the permeability experiment.

図2. 実測圃場の位置、実測器機の設置および透水試験の測定地点。

Fig. 3. Photograph of the observed plot.

図3. 実測圃場の概観.

流入・流出量および蒸発散量が生じない 18:00 から翌朝 6:00 までの夜間において、初期水位に流入量を加えた値と減水位の関係を 2 時間ごとに求め、それを 1 日量に換算して求めた。よって、未知項となる貯水量変化は (1) 式から算出した。水収支計算においては、水収支項目の値を各圃場における単位面積当りの水深に換算して用いた。

結果および考察

灌漑期における圃場水位の長期変化

実測圃場では 2002 年 5 月 10 日から代かきが始まり、5 月 17・18 日に田植えが行われ、田植え後の 121 日間の湛水を経て、9 月 7 日に落水を行った。この地区では、土壤に亀裂が生じることによる畦畔の崩壊を防止するために、平地の水田で見られる中干しは行われていない。Fig. 4 に降雨量と A 圃場および C 圃場における水位の長期変化を示した。なお、欠測日は田面の泥やゴミによって異常値が生じたことによるものである。

両圃場の水位は、A 圃場と C 圃場で灌漑期の平均値が

それぞれ 59.9 mm, 45.3 mm となり、水位が一定に維持される傾向が認められた。これは流入量が多いため、水尻の高さを調節し、余分な水を掛け流しすることで、各圃場において十分な水位が維持されることから、平常時は水位に大きな変動が現れないものと考えられる。

しかし、A 圃場では 5 月中・下旬および 8 月下旬と 9 月上旬において、水位の変動が大きくなった。これは短時間に集中的な降雨があり、上流側の圃場からの流入量が急激に増加したことや、稲の生育に伴って水位を調節したことが原因としてあげられる。また、C 圃場では 6 月下旬まで水位が約 40 mm に維持されているのに対し、7 月以降は A 圃場と同じ高さまで上昇した。実測圃場の灌漑用水は、5・6 月において主に A 圃場から B 圃場へ掛け流されていたが、7・8 月には A 圃場から C 圃場、さらに D 圃場へ掛け流された。これは、気温が上昇し、圃場内で消費される水量が多くなることを考慮して、A 圃場の水尻を調節したことがあげられる。

日平均水収支の季節変化

水田団地の取水操作は、横沢川から天候や圃場の湛水

Fig. 4. Long term changes of rainfall and water level in plots A and C.

図4. 降水量とA圃場およびC圃場水位の長期変化.

状態に応じて約2日間隔で行われている。Fig. 5は計16回行った実測結果のうち、11回の無降雨日を対象に1日量の水収支計算結果を示している。各圃場の灌漑用水の出入りについては、流入・貯留側の項目をプラス、消費・流出側の項目をマイナスとして表した。

各圃場の流入量 (Q_i) は $0.0 \sim 280.4 \text{ mm d}^{-1}$ となり、実測日によって値の増減が大きく異なり、最下位にあるB圃場とD圃場ではそれが顕著であった。これは取水に伴う急激な Q_i の増加や、一段上の圃場水位の調節の影響によるものと考えられる。他方、断水日においては、A圃場とC圃場で僅かな流入が生じていた。実測圃場は水田団地の最下位に位置し、最終的な排水口も兼ねている (Fig. 2)。こうした圃場の位置関係から、断水日でも常時流入が生じたと考えられる。

圃場内の消費項目のうち、蒸発散量 (E_r) は $-7.6 \sim -3.6 \text{ mm d}^{-1}$ となり、最大値は8月に出現した。 E_r の値は、主に最高気温と日照時間に左右される (Miyamoto, 1973)。実測日における気象条件は、灌漑期前半において日照時間が長く、後半は高温な日が多かった。こうした気象条件により、快晴日においては E_r の値が 5 mm d^{-1} 前後で

あったが、8月においては上記の要因が同時に生じたために最大値を示したと考えられる。

夜間の減水位から算出した浸透量 (P) の値は、 $-48.4 \sim 33.7 \text{ mm d}^{-1}$ となった。水田圃場の浸透は、降下浸透と畦畔浸透から成り、土壌の亀裂、根や虫の穴等の粗間隙が支配的な役割を果たしている (金子, 1973)。代かきの前日までに行った透水試験では、減水量が $10^{-7} \sim 10^{-6} \text{ cm s}^{-1}$ のオーダーであった。この結果から、圃場へ取水すると、すぐに土壌が飽和状態になる上、代かきによって亀裂や粗間隙が塞がれてしまうために、田底からの降下浸透による消費は少ないと考えられる。したがって、 P の大部分は畦畔浸透が占めると推定される。

Fig. 5の P の値は、 Q_i の増減に対応する傾向が示されている。これは、圃場への流入に伴って水位が上昇したために、畦畔への浸透が多くなったものと考えられる。 P の値の全般的な傾向として、A、B、C圃場では水の消費となるが、D圃場は逆に P が流入の値となった。これはD圃場が水田団地の最下位に位置するために、上位圃場で浸透した水が、畦畔を通して集中的に流入したことがあげられる。

Fig. 5. Daily mean water balance in the observed plots over 11 rainless days.

Q_i : Inflowing Water, D_s : Change of storage, P : Percolation, E_T : Evapotranspiration, Q_{tf} : Throughflowing water, Q_{of} : Outflowing water, Positive value: Inflow and storage, Negative value: Consumption and outflow Black arrow: Flow direction of irrigation water.

図5. 11回の無降雨日における実測圃場における日平均水収支.

Q_i : 流入量, D_s : 貯水量変化, P : 浸透量, E_T : 蒸発散量, Q_{tf} : 隣接圃場への流入量, Q_{of} : 水路への流出量, Positive value: 流入と貯留, Negative value: 消費と流出, ブロック矢印: 灌漑用水の水掛り.

各圃場における(1)式の計算では、流出量を Q_o として用いているが、Fig. 5では流出の性質を明確にするため、隣接圃場への流出量を Q_{tf} 、水路への流出量を Q_{of} として示した。実測から得られた各圃場の流出量(Q_o)は $-363.0 \sim 0.0 \text{ mm d}^{-1}$ となり、 Q_i と同様にB圃場とD圃場でその増減が大きく、D圃場では7・8月の実測時において Q_o が極端に大きくなっている。その原因として、圃場の水位が低下したことや、上位圃場から浸透流入を含む多量の流入が生じたためと考えられる。

棚田のように傾斜地に展開する水田では、水の消費形態は各圃場の位置関係に左右される(古木・佐藤, 1980)。こうした原因によって、A, B, C圃場では一般的な水田と同様の水収支特性を示すが、D圃場では多量の浸透流

入が生じていることがわかった。

したがって、棚田では田越し灌漑によって上流から下流まで「流入、貯留、流出」および「浸透流入、消費、漏水損失」の作用が連続的に生じているといえる。

まとめ

本研究は、2002年度灌漑期における水収支調査から、灌漑用水の挙動・貯留動態について検討を行った。現地調査および水収支解析の結果から、以下の知見を得ることができた。

1) 実測圃場では掛け流しすることで、一定期間において必要な水位を維持していた。

2)実測データから、上位の圃場では表面流入に対して他の項目によって消費される水収支特性を示すが、下位の圃場では上位の圃場から畦畔を通して多量の浸透流入が生じていた。

3)実測圃場では立地条件や位置関係によって水収支特性が左右されることが明らかになった。

したがって、棚田では田越し灌漑によって独特の水循環系を作り出しているといえる。今後は、棚田の灌漑用水の実態をより明確にするために、水源から排水路までの一水循環系としての棚田の水文過程をモデル等によって定量化することが必要である。また、棚田では水利条件や立地条件によって多様な水利利用形態が見られるので、これらの条件が異なる地域間において、水収支特性の比較・検討を行っていく必要がある。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、現地農家の朝比奈徳治氏およびご家族の皆様には、計測の場を提供して頂くとともに、有益なご教示を頂きました。旧更埴市西部土地改良区事務局長の荒井貞人氏および事務員の皆様には、貴重な資料を提供して頂くとともに多大な便宜を図って頂き

ました。現地農家の皆様には、多大なご教示および温かい激励を頂きました。

立正大学地球環境科学部の新井 正先生には、終始熱心なご指導を頂きました。以上の皆様には、この場をお借りして厚くお礼を申し上げます。

文 献

- 金子 良(1973):農業水文学. 共立出版, 東京.
- 金子 良(1969):棚田流域の流出特性. 水温の研究, 13(1): 10-22.
- 中川昭一郎(1966):水田用水量調査計画法(その2). 農業土木学会誌, 34(2): 27-32.
- 早瀬吉雄(1992):中山間水田域の洪水防止評価. 応用水文, 4: 81-99.
- 古木敏也・佐藤 寛(1980):傾斜地水田における合理的な水利用方式に関する実証的研究-愛知用水(住吉地区)水管理調査(I)-. 農業土木試験場技報, A21: 1-16.
- 増本隆夫・高木強治・吉田修一郎・足立一日出(1997):中山間水田の耕作放棄が流出に与える影響とその評価. 農業土木論文集, 189: 59-68.
- Miyamoto, K.(1973):Weather effects on water consumption of the paddy field and estimate of evapotranspiration on the basis of new climatic index. 農業土木学会論文集, 46: 7-13.